

УДК 621.

В. А. МАЛЯРЕНКО, д-р техн. наук, проф., Заслужений діяч науки і техніки України,
Харківська національна академія міського господарства, м. Харків

С. Б. Фіш, провідний інженер

Інституту транспорту газу, м. Харків

М. Б. Ільченко, студентка

Харківській університет радіоелектроніки, м. Харків.

УДОСКОНАЛЕННЯ НОРМУВАННЯ ВИТРАТ ПАЛИВНОГО ГАЗУ НА ВИРОБНИЧО-ТЕХНОЛОГІЧНІ ПОТРЕБИ ГАЗОТРАНСПОРТНОЇ СИСТЕМИ

Проведен анализ основных факторов, влияющих на нормы расхода топливного газа газоперекачивающими агрегатами. Предложен подход и получены результаты расчета уточняющих коэффициентов (поправок) к исходным нормам, учитывающие техническое состояние газоперекачивающих агрегатов и влияние утилизаторов тепла выхлопных газов.

Проведено аналізування основних факторів, що впливають на норми витрат паливного газу газоперекачувальними агрегатами. Запропоновано підхід і отримано результати розрахунку уточнюючих коефіцієнтів (поправок) до початкових норм з урахуванням технічний стан газоперекачувальних агрегатів і вплив утилизаторів тепла вихлопних газів.

Вступ

Удосконалення розрахунку норм витрати паливного газу з урахуванням технічного стану та умов експлуатування є важливим етапом у розв'язанні загальних задач газотранспортної галузі – економії паливних ресурсів, покращенні екологічного стану та підвищенні економічної віддачі від газотранспортної системи України.

Сьогодні до задач нормування, обліковування, контролювання витрат паливно-енергетичних ресурсів (ПЕР) пред'являються більш жорсткі вимоги щодо точності і вірогідності їх розв'язання. До того ж, усе зростаюча ціна ПЕР визначає необхідність підвищення енергоефективності роботи газотранспортної системи (ГТС).

Реалізація цих вимог обумовлює необхідність подальшого розвитку методичної бази і комп'ютерних програм нормування, обліковування і контролювання ефективності використання природного газу на виробничо-технологічні потреби ГТС ДК "Укртрансгаз".

Норми питомих витрат паливно-енергетичних ресурсів на виробничо-технологічні потреби вимагають постійного переглядання та обґрунтованого коригування. Коригування норм треба виконувати на основі аналізування відхилень розрахованих витрат газу на експлуатування ГТУ від фактичних.

Основна частина

У процесі визначення норм витрат природного газу на виробничо-технологічні потреби має бути врахований ряд експлуатаційних та технологічних даних і факторів. На даний час, у нормуванні витрат паливного газу враховують такі фактори [1, 2]:

– технічний стан ГТУ та ВЦН у залежності від випрацювання їх ресурсу після останнього капітального ремонту (КР);

– вплив рівня навантаження ГТУ та ВЦН за потужністю;

– вплив атмосферних умов на витрати паливного газу.

– застосування установок утилізації тепла.

Урахування цих факторів у нормуванні витрат паливного газу реалізовано шляхом введення коефіцієнта корекції, який визначається як добуток безрозмірних коефіцієнтів:

$$K = K_A \cdot K_{TC} \cdot K_{TZ} \cdot K_{ЗВ} \cdot K_{КУ}, \quad (1)$$

де K_A – коефіцієнт, що враховує вплив атмосферних умов на витрату паливного газу;

K_{TC} – коефіцієнт, що враховує технічний стан ГПА;

K_{TZ} – коефіцієнт, який враховує фактичну теплотворну здатність паливного газу відносно теплотворної здатності природного газу стандартної якості;

K_{zv} – коефіцієнт, який враховує рівень завантаження ГПА;

K_{ku} – коефіцієнт, який враховує використання установок утилізації тепла.

При цьому технічний стан агрегатів визначається в залежності від напрацювання від початку експлуатації (капітального ремонту) [2]. Відповідно до існуючого підходу до розрахунку норм, для більшості типів агрегатів коефіцієнт, що збільшує норму витрати дорівнює: при напрацюванні від 25 до 50 тис. годин – 1,02, більш 50 тис. годин – 1,04. Такий підхід не відбиває фактичні витрати паливного газу агрегатів, що мають різний знос при однаковому або близькому напрацюванні. Для агрегатів, що мають напрацювання 100 і більш тисяч годин, у яких зниження ККД ГТУ може досягати 12–14 %, а наявної потужності до 30 % від вихідної, проблема нормування витрати паливного газу за фактичним технічним станом (ФТС) особливо актуальна. Норми витрати паливного газу для таких агрегатів мають занижені значення і перевитрата паливного газу відзначається при будь-якому режимі експлуатації [3].

При роботі ГПА на часткових навантаженнях питоме споживання паливного газу зростає в порівнянні з номінальним режимом, що обумовлене зниженням ККД ГТУ.

Виправлення до питомої норми номінального режиму в цьому випадку розраховуються з урахуванням коефіцієнтів завантаження. Однак розрахунок значень виправлень не спирається на реальні фізичні процеси в ГТУ. Тому, у більшості випадків, ці виправлення носять істотно завищений характер.

Підвищити точність нормування витрати паливного газу ГПА пропонується в такий спосіб. Початкову індивідуальну норму витрати паливного газу на часткових режимах роботи ГТУ визначити за двома параметрами – частоті обертання ротора турбіни високого тиску (ТВТ) і потужності установки, з використанням фактичних універсальної і ККД характеристик ГТУ. При цьому для кожної робочої точки області припустимих режимів роботи ГТУ, що охоплює усі можливі значення коефіцієнтів завантаження, визначаються значення витрат паливного газу і значення початкових індивідуальних питомих норм витрат паливного газу. Потужність установки розраховується за фактичними характеристиками і поточними параметрами ВЦН. Приклад застосування такого підходу наведено на рис. 1.



Рис. 1. Залежність поправочних коефіцієнтів до питомих норм витрат газу від коефіцієнтів завантаження для ГТУ ГТ-6-750

Крім того перемінний графік надходження і доборів природного газу в систему, часто змінювані погодні умови, природний знос обладнання, а також ряд інших факторів, приводять до помилок у розрахунку норм до 15–20 % при усередненні виправлень до вихідних норм, обумовлених частковими навантаженнями. Такі помилки обумовлені нелінійністю впливу відзначених факторів на фактичну величину витрат паливного газу. Тому, при складанні звітних документів про використання природного газу на власні потреби розрахунок норм витрати паливного газу на тимчасові інтервали (місяць, квартал, рік) доцільно здійснювати шляхом підсумовування витрат паливного газу по короткострокових інтервалах, на яких можна зневажити нелінійним впливом режимно-технологічних і погодних факторів.

Коефіцієнт, який враховує вплив застосування установок утилізації тепла вихлопних газів (котлів-утилізаторів) на витрати паливного газу дотепер не було обчислено для всіх типів газотурбінних установок, тому під час нормування витрат паливного газу на виробничо-технологічні потреби він не враховувався.

Опір конвективних поверхонь теплообміну котлів-утилізаторів впливає на зміну двох основних показників ефективності роботи ГТУ–ККД і потужності. Залежність цих параметрів від змінення опору вихлопного тракту приводу визначає завод-виготовлювач на випробовувальних стендах і відображає у графічному вигляді для кожного типу ГТУ. Дані залежності у табличному та графічному вигляді є складовою частиною паспортної заводської документації.

Щоб підтримати заданий диспетчером режим і отримати потрібне значення потужності ГТУ, необхідно витратити додаткову кількість паливного газу, яка компенсує відповідний відсоток зниження потужності. Новий режим роботи буде з ККД нижчим на наведену в графіку поправку.

Обчислення додаткових витрат паливного газу і коефіцієнтів-поправок на використання котлів-утилізаторів проведено за наведеним нижче алгоритмом.

Визначається нове значення витрати паливного газу $G_{\text{пг}}$ відносно паспортного значення з урахуванням падіння ККД

$$G_{\text{пг}} = \frac{N_{\text{ном}} \cdot 3600}{(\eta_{\text{ном}} - \Delta\eta_i) \cdot Q_{\text{нижч}} \cdot 1000}, \text{ м}^3, \text{ зведених до стандартних умов /год}, \quad (2)$$

де $i = 1 \dots n$ – індекс пошагових значень опору вихлопного тракту;

$N_{\text{ном}}$ – номінальна потужність ГТУ, кВт;

$\eta_{\text{ном}}$ – номінальний ККД ГТУ;

$\Delta\eta_i$ – пошагова поправка на втрати ККД від змінення опору вихлопного тракту приводу (за заводськими паспортними даними);

$Q_{\text{нижч}}$ – нижча теплотворна здатність, кДж/м³, зведених до стандартних умов. У розрахунках використано значення нижчої теплотворної здатності - 34,63 кДж/м³ децю нижче, ніж значення для метану (35,797 кДж/м³);

3600 – кількість секунд у годині;

1000 – множник для переведення КДж у Дж.

Значення коефіцієнту, який враховує вплив на ККД ГТУ гідравлічного опору вихлопних газів котлів-утилізаторів тепла ($K_{\text{ку}}$), визначають як відношення розрахованих за формулою (2) значень витрат паливного газу до номінальних витрат паливного газу за паспортною інформацією.

Питомі витрати паливного газу на одиницю виробленої потужності визначають для кожного значення коефіцієнту $K_{\text{ку}}$ відносно номінальної потужності за паспортною інформацією.

Нижче наведено приклад розрахунку витрат паливного газу та коефіцієнту-поправки використання котлів-утилізаторів

Тип ГПА	ГПА-25С(ДН-80)
Тип утилізатора	теплоутилізатор УТ 160.1045.В-002021
Тип нагнітача	650-21-2
Характеристики ГТУ:	
Номінальна потужність $N_{\text{ном}}$, кВт	– 25000
Номінальні витрати паливного газу $G_{\text{ном}}$, м ³ , зведених до стандартних умов/г	– 7236
Номінальний ККД	– 0,36
Питома індивідуальна норма витрати паливного газу $Q_{\text{пит}}^{\text{н}}$, м ³ , зведених до стандартних умов/кВт·год	– 0,484

Таблиця 1

Залежність коефіцієнту $K_{\text{ку}}$ та витрат паливного газу від зміни опору вихлопного тракту за номінальної потужності ГТУ

Величина опору вихлопного пристрою, мм. вод. ст.	50	100	150	200	250	300	350	400
Величина зміни потужності ГТУ, %	-0,75	-1,25	-1,88	-2,5	-3,13	-3,75	-4,4	-5,1
Величина зміни ККД ГТУ, %	-0,75	-1,25	-1,88	-2,5	-3,13	-3,75	-4,4	-5,1
Витрата паливного газу, м ³ , зведених до стандартних умов/г	7373	7479	7617	7758	7907	8059	8224	8411
Коефіцієнт $K_{\text{ку}}$	1,019	1,034	1,053	1,072	1,093	1,114	1,137	1,162
Питома витрата паливного газу, м ³ , зведених до стандартних умов/кВт·год	0,295	0,299	0,305	0,310	0,316	0,322	0,329	0,336

Узагальнені значення коефіцієнту, який враховує вплив на ККД ГТУ гідравлічного опору вихлопних газів котлів-утилізаторів тепла для деяких ГТУ, що експлуатують на КС ДК "Укртрансгаз" наведено у табл. 2. Отримані коефіцієнти $K_{\text{ку}}$ необхідні для нормування питомих витрат паливного газу за умови використання котлів-утилізаторів.

Таблиця 2

Узагальнені значення коефіцієнтів $K_{\text{ку}}$ для ГТУ за номінальної потужності

Тип ГПА	Опір вихлопного тракту (мм. вод. ст)							
	50	100	150	200	250	300	350	400
	Коефіцієнти $K_{\text{ку}}$							
ГПА-25С(ДН-80)	1,019	1,034	1,053	1,072	1,093	1,114	1,137	1,162
ГТК_25І	1,018	1,035	1,053	1,075	1,097	1,116	1,139	1,199
ГПУ-10 (ДР-59)	0,983	1,000	1,023	1,034	1,053	1,072	1,092	1,112
ГПА-Ц-6.3С(ДТ-71)	0,979	0,989	1,001	1,009	1,023	1,034	1,045	1,060
ГПА-Ц-6,3 (НК-12 СТ)	1,090	1,114	1,149	1,193	1,230	1,270	1,312	1,344
ГТН-6	0,999	1,032	1,056	1,085	1,119	1,161	1,222	
ГТН-16	1,024	1,052	1,081	1,104	1,146	1,169	1,193	1,244

За результатами виконаних розрахунків для кожного з розглянутих типів ГТУ було побудовано графіки залежності питомих витрат паливного газу від опору вихлопного пристрою для номінального та часткового завантаження ГПА у діапазоні значень опору

вихлопного пристрою 50–400(350 для деяких приводів) мм. вод. ст. Зниження завантаженості ГПА було змодельоване шляхом зміни значення поточної потужності ГТУ (N) у діапазоні 0,7–1,1 $N_{ном}$.

Приклад такого графіка приведений на рис. 2

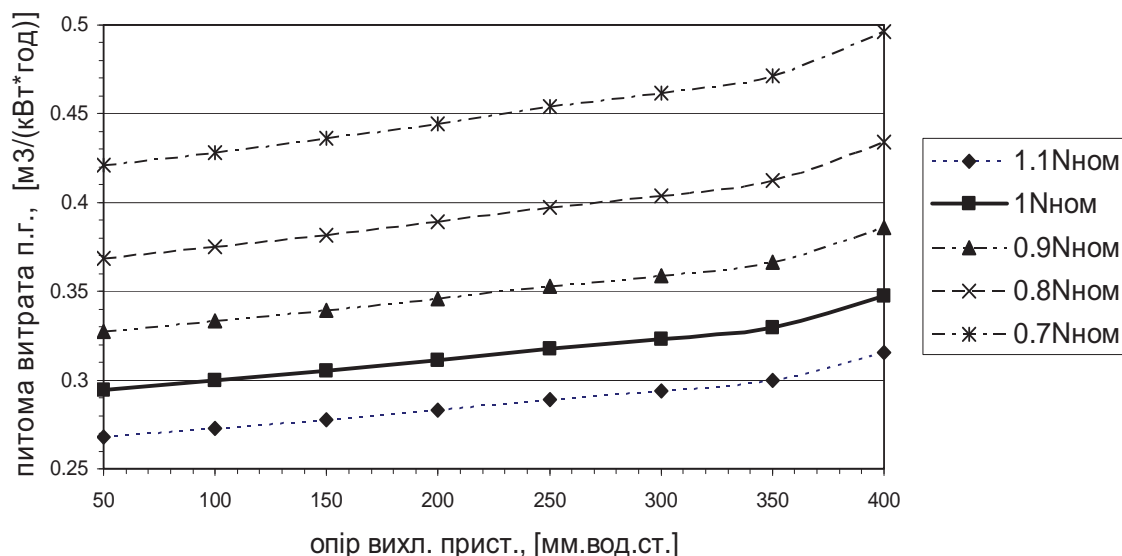


Рис. 2. Залежність питомих витрат паливного газу від завантаженості ГПА та опору вихлопного пристрою ГПА-25С (ДН-80)

Випробування розробленого методу визначення і урахування поправочних коефіцієнтів на використання котлів-утилізаторів при нормуванні витрат паливного газу на ВТП проведено при розрахунку індивідуальних норм питомих витрат паливного газу для ГТУ з урахуванням їх ФТС за даними 4 кварталу 2011 року. Залежність розрахованих індивідуальних норм питомих витрат паливного газу від опору вихлопного пристрою ГТУ наведено на рис. 3 Горизонтальною лінією позначені розраховані фактичні питомі витрати паливного газу з урахуванням ФТС ГПА.

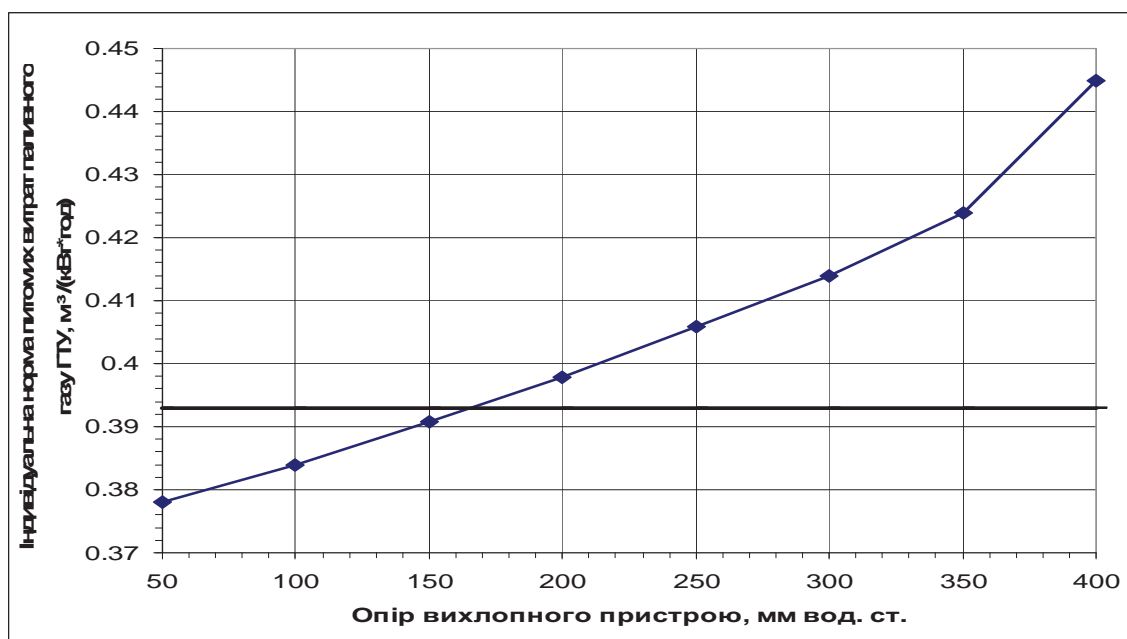


Рис. 3. Залежність норм питомих витрат паливного газу ГТУ від значень опору вихлопного пристрою для ГТУ ГПА-25С(ДН-80)

Для порівняння перевитрат паливного газу розраховано середні значення перевитрат при нормах питомих витрат, визначених без урахування $K_{ку}$ і середні значення перевитрат з нормами питомих витрат паливного газу, обчисленими з урахуванням поправочних коефіцієнтів $K_{ку}$. Значення поправочних коефіцієнтів використано для діапазону значень опору вихлопного тракту 100 – 150 мм вод. ст, тобто близьких до номінальних. Як приклад, результати розрахунків представлено у табл. 3

Таблиця 3

Значення індивідуальних норм питомих витрат та перевитрат паливного газу ГТУ у разі використання котлів-утилізаторів, ГТУ ГПА-Ц-6,3С(ДТ71)

Номер	ККД ГТУ	Індивідуальна норма питомих витрат паливного газу, $\text{нм}^3/\text{кВт}\cdot\text{год}$	Фактичні питомі витрати паливного газу, $\text{нм}^3/\text{кВт}\cdot\text{год}$	Перевитрати паливного газу, %	Перевитрати паливного газу, $\text{нм}^3/\text{год}$
1	21,7	0,476	0,493	3,7	125,48
2	22,39	0,462	0,478	3,31	121,31
3	21,62	0,479	0,495	3,25	109,07
4	18,24	0,492	0,529	7,36	235,95
5	22,01	0,467	0,486	4,16	148,08
6	20,08	0,5	0,533	6,57	195,29
7	19,87	0,501	0,539	7,56	217,25
8	19,79	0,5	0,541	8,06	227,9
9	22,15	0,478	0,483	1,12	35,04
10	21,84	0,468	0,49	4,71	161,92
11	21,77	0,482	0,491	1,85	55,58
12	19,1	0,493	0,56	13,55	415,08
13	19,3	0,495	0,554	12,0	358,56
14	19,17	0,495	0,558	12,7	380,32
15	20,76	0,467	0,492	5,28	181,35
16	23,5	0,453	0,455	1,56	20,16
17	19,9	0,498	0,538	7,92	223,72
18	19,23	0,505	0,556	10,31	287,68
19	19,86	0,497	0,539	8,29	236,85
20	15,11	0,505	0,56	10,82	296,59
21	20,24	0,451	0,46	2,03	75,97
22	23,06	0,459	0,464	1,08	37,76
23	22,7	0,465	0,471	1,29	42,23
24	18,14	0,476	0,506	6,23	197,05
25	20,46	0,493	0,523	6,05	168,46

Середнє значення перевитрат паливного газу
(без урахування $K_{ку}$)

6,29%

Середнє значення перевитрат паливного газу
(з урахуванням $K_{ку}$)

2,69%

Наведені порівняльні значення перевитрат свідчать, що для підвищення точності нормування витрат паливного газу на ВТП урахування впливу використання котлів-утилізаторів на витрати паливного є важливим фактором.

Висновки

1. Обґрунтовано необхідність використання коефіцієнтів технічного стану, коефіцієнтів завантаження, розрахованих за фактичними характеристиками функціонально-технічного стану ГПА та коефіцієнтів-поправок на використання котлів-утилізаторів при нормуванні питомих витрат паливного газу.

2. Розроблена методика визначення поправочних коефіцієнтів $K_{ку}$ для визначення питомих норм витрат паливного газу в залежності від опору газового тракту котла-утилізатора.

3. Розраховані коефіцієнти $K_{ку}$ для ГТУ: ГТК-25І, ГПА-25С(ДН-80), ГПУ-10(ДР-59), ГТН-6, ДТ-71, ГТН-16, НК-12СТ.

4. Визначені залежності зростання питомих витрат паливного газу при використанні котлів-утилізаторів від зростання значень опору вихлопного пристрою для всіх типів ГТУ, що були розглянуті в роботі.

5. Рішення щодо ефективності використання котла-утилізатора на тому чи іншому ГПА доцільно приймати використовуючи отримані в даній роботі результати і на підставі співставлення вартості тепла, що виробляє котел-утилізатор з вартістю тепла від інших джерел енергії.

Список літератури

1. "Методика визначення питомих витрат природного газу під час його транспортування газотранспортною системою та зберігання в підземних сховищах". – Київ, "Уцeboпнaфтогaз". – 2001.

2. "Методика нормування витрат природного газу на компресорних станціях ДК "Укртрансгаз"", Київ, УКРНДІГАЗ, 2006 р.

3. Ільченко Б. С., Токаєв М. В. Визначення фактичного технічного стану ГТУ і прогнозування його змін в процесі експлуатації за даними штатних вимірів// Східно-європейський журнал передових технологій. – 2004. – № 2. – С. 11–14.

UNIT COSTS NORMALIZATION ENHANCEMENT FOR GAS TRANSMISSION SYSTEMS MANUFACTURING-TECHNOLOGY COSTS

V. A. MALJARENKO, D-r Scie. Tech, Pf.
S. B. FISH, ing., M. B. ILCHENKO, student

There were analyzed mane factors, affecting gas-pumping units fuel gas norms . There were proposed treatment and obtained results for calculation of gas-pumping units beginning norms specifying coefficients.

Поступила в редакцію 06.03 2012 г.